

## トンネルの事前調査および施工中における弾性波探査について

榑奥村組 技術研究所 正会員 篠原茂

## 1. まえがき

トンネルの事前調査ではほとんどの場合に屈折法弾性波探査が行われ、そこで得られた弾性波速度の値等に基づいて支保パターンが決められるが、事前の支保パターンと実際の支保パターンが異なるケースが多い<sup>1)</sup>。その原因として事前調査で実施される弾性波探査に問題点があることが指摘されている<sup>2)</sup>。

屈折法弾性波探査の解析に関しては、新しい解析手法を取り入れた高精度屈折法解析ソフトが近年開発され<sup>3)</sup>、精度の向上が図られつつあるが、事前調査での弾性波探査は地表から行われるため地山深部のトンネル予定ルートを通過する波線の占める割合が少ないため精度の向上には限界があり、施工中の調査が必要になってくる<sup>4)</sup>。

## 2. 事前調査弾性波探査

## (1) 層構造解析

Aトンネルにおいて事前調査で実施された屈折法弾性波探査の結果と設計支保パターンを図-1に示す。屈折法弾性波探査で従来から行われている解析では、図-1に示すように地山の速度分布が地表面に対して層構造を成していると仮定して解析するため、トンネルの進行方向に対する速度変化が求まり難い傾向がある。また、層構造の層の数としては通常4層構造を仮定することが多いが、速度変化の大きい地表付近では比較的層厚が細かな速度分布が求まるが、深度が深くなると1層当りの層厚が大きくなるため、トンネル坑口部を除いたトンネル中央部の速度分解能が小さくなる傾向がある。

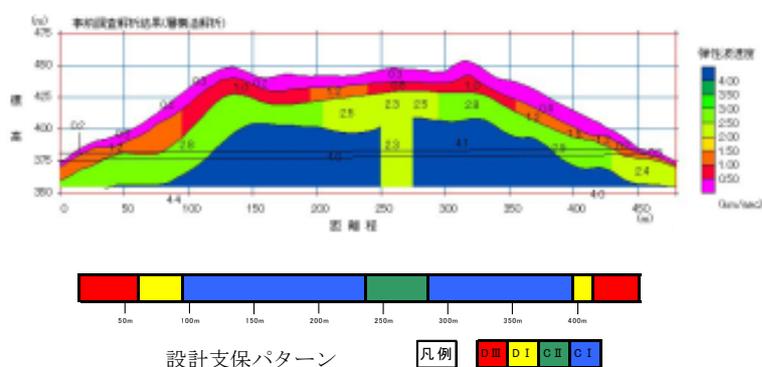


図-1 事前調査解析結果および設計支保パターン

## (2) トモグラフィ的解析

近年開発された屈折法弾性波探査の新しい解析手法では、解析領域を一辺が約数メートルの四角形のセルに分割し、それぞれのセルの速度を観測走時に適合するように、観測走時と計算走時の差がある程度小さくなるまでセルの速度を修正しながら繰返し計算を行うトモグラフィ的解析手法を採用しており、この方法によれば上記のような層構造解析の場合の欠点を補うことができる。Aトンネルでの走時データをこの手法で再解析した結果を図-2に示す。図-1および図-2の速度分布を基に波線の伝播経路を仮定して計算走時を求め、観測走時との平均残差を求めると、層構造解析の図-1の場合で16.86ms、図-2のトモグラフィ的解析の場合で7.07msであり、トモグラフィ的解析の方が平均残差が小さい。幾つかのトンネルで同様の解析を行いそれぞれの平均残差を求めた結果を表-1に示す。この結果によればトモグラフィ的解析の方が全て平均残差が小さくなっており、この点から判断するとトモグラフィ的解析の結果の方が探査データにより適合していると考えられる。

表-1 観測走時と計算走時との平均残差

	層構造解析	トモグラフィ的解析
Aトンネル	16.86ms	7.07ms
Bトンネル	5.75ms	2.25ms
Cトンネル	5.56ms	2.65ms
Dトンネル	8.23ms	3.77ms
Eトンネル	5.74ms	3.61ms
Fトンネル上り線	7.38ms	4.13ms
Fトンネル下り線	9.22ms	3.67ms
Gトンネル	10.49ms	3.14ms

キーワード：トンネル、弾性波探査

茨城県つくば市大字大砂387 TEL：029-865-1784 FAX：029-865-0782

3. 施工中の弾性波探査

事前調査で実施される屈折法弾性波探査は地表から弾性波を発生させて行われるが、発生させる震源のエネルギーが小さい場合や土被りが大きい場合などではトンネル掘削地点まで波が届かないこともあり、そのような場合には弾性波速度が求まらないことになる。これに対し、トンネル発破時の振動を切羽前方の地表に設置した振動計で測定すれば、弾性波はこれから掘削する地山を通るため、発振点から受振点までの伝播時間はトンネル掘削区間の地山性状を反映したものとなり、これらのデータと事前調査での探査データとを合わせて解析すればより正確な地山の速度分布が求まることになる。

Aトンネルでは測定期日で合計3回、発破回数で合計10回の測定を実施した。全ての測定データを合わせて解析した結果を図-3に示す。発振点および受振点の位置はそれぞれ図に示した通りで、同じく同図に、施工した支保パターンの実績と、切羽観察記録から作成した地質展開図を合わせて示した。

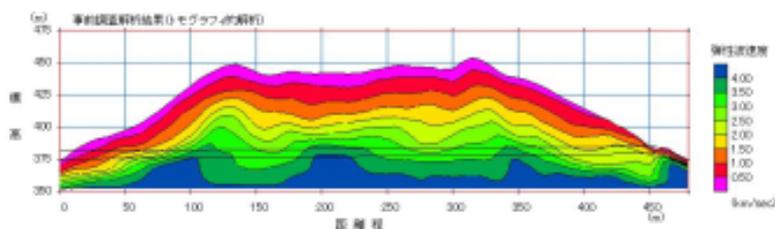


図 - 2 事前調査再解析結果

4. 探査結果の考察

事前調査の結果（図-1）では中央部に速度2.3km/sの低速度帯が存在し、その前後は速度4km/s以上の良好な岩盤から成り、設計支保パターンでは低速度帯の部分がCIIパターン、その前後はCIパターンであった。一方、再解析した結果（図-2）によれば距離程160mと280m付近で速度2～2.5km/sの層がトンネル近傍まで下がってきており、それらの前後の区間では3～4km/sの値を示した。

施工中の最終的な結果（図-3）によれば、距離程270m付近で速度2～2.5km/sの層がトンネル近傍まで下がってきているが、160m付近については弱層部がトンネルと交わる可能性が小さくなっている。実績支保パターンや地質展開図と比較すると220～270m区間は風化の進んだ花崗岩から成り、250～262m区間はDIパターンで施工されており探査結果の速度分布と整合した結果になっている。

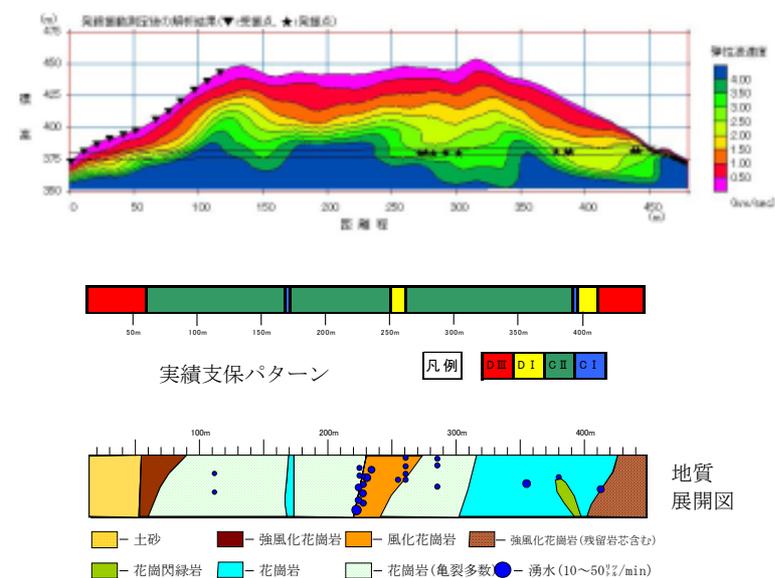


図 - 3 施工中の探査結果と実績支保パターンおよび地質展開図

5. あとがき

事前調査の弾性波探査は地表から実施していることや、解析上の制約から十分な精度が得られないことが多いが、施工中の切羽の発破を震源としたデータを追加することで速度分布の予測精度が向上することが確認できた。

参考文献

- 1) 伊藤哲男、赤木渉、中西昭友、進士正人：事前弾性波探査と支保実績の整理分析，第11回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，2002年
- 2) 鈴木守、富田宏夫：トンネル地質調査の性格と問題点(2)，トンネルと地下，第24巻，10号，1993年
- 3) 林宏一、斎藤秀樹：高精度屈折法地震探査の開発と適用例，物理探査，Vol.51，No.5，1998年
- 4) 篠原茂、小松敏宏、森良弘：発破振動によるトンネル切羽前方の弾性波速度分布の予測、土木学会第57回年次学術講演会、2002年